

⑨ 日本国特許庁 (JP) ⑩ 特許出願公開
 ⑪ 公開特許公報 (A) 昭57-162591

⑫ Int. Cl. ³	識別記号	厅内整理番号	⑬ 公開 昭和57年(1982)10月6日
H 04 R 1/20	H A C	6507-5D	発明の数 1
A 61 B 10/00	1 0 4	6530-4C	審査請求 未請求
H 04 R 17/00	1 0 1	7326-5D	
// G 01 S 7/52		7741-5 J	

(全 5 頁)

④ 超音波トランスデューサ

⑤ 特 願 昭56-46816
 ⑥ 出 願 昭56(1981)3月30日
 ⑦ 発明者 竹内康人

武藏野市中町2丁目9番32号株式会社横河電機製作所内

⑧ 出願人 株式会社横河電機製作所
 武藏野市中町2丁目9番32号
 ⑨ 代理人 弁理士 小沢信助

明細書

1. 発明の名称

超音波トランスデューサ

2. 特許請求の範囲

- (1) 少くとも複数枚のポリマー系圧電材料でなる圧電素子膜を、伝播媒体を介して互いに平行に積層する配列構造とすることによりこれらの圧電素子膜と垂直な方向を音波方向として進行波結合を行なうことを特徴とする超音波トランスデューサ。
- (2) 前記圧電素子膜を膜間間隔より薄くしたことを特徴とする特許請求の範囲第1項記載の超音波トランスデューサ。
- (3) 前記伝播媒体として、水又は水とほぼ等価な音響特性を有する媒質を使用することを特徴とする特許請求の範囲第1項又は第2項記載の超音波トランスデューサ。
- (4) 前記伝播媒体として前記ポリマー系圧電材料と音響学的インピーダンスがほぼ等しい物質を用いたことを特徴とする特許請求の範囲第1項

記載の超音波トランスデューサ。

- (5) 前記配列構造の目的領域側の開口端部に音響学的レンズを有することを特徴とする特許請求の範囲第1項記載の超音波トランスデューサ。
- (6) 前記配列構造の目的領域側の開口端部において目的領域との間に音響学的インピーダンスマッチング層を有することを特徴とする特許請求の範囲第1項記載の超音波トランスデューサ。
- (7) 前記配列構造の目的領域側とは反対側の端部において音響学的無反射終端を成すためのパッキン材が配置せられることを特徴とする特許請求の範囲第1項記載の超音波トランスデューサ。

3. 発明の詳細を説明

本発明は、ポリフッ化ビニリデン(以下 PVDF と略称する)等の圧電性有機物、又は粉末状の圧電セラミックを分散させたゴム状あるいはプラスチック状の材料(以下総称してポリマー系圧電材料といいう)を用いて構成した、淡水、海水ないし人体などに對峙して用いられる超音波トランスデューサ。

ーサに関するものである。

従来より、ポリマー系圧電材料は適宜に成形し必要に応じて分極を施せば超音波送受波器として利用できることが知られているが、圧電性が不十分であるの種々の欠点に大きく支配され、それ自身の可成形性及び音響学的インピーダンス整合の良さなどの利点があるにもかかわらず充分に利用されていない。例えばそれらの33方向の圧電定数 a_{33} は、従来からとの用途において公知かつ供用の圧電セラミック（例えば PZT など）の $1/5 \sim 1/10$ 倍が実用的に得られる上限である。しかしながら多少の電気的な挿入損失を覚悟すれば非常にインパルス応答の良い広帯域な超音波結合を得ることができることが知られている。

このようなポリマー系圧電材料は、材料自体やその組成、成形技法、分極技法等の面からの性能向上追求も試みられているが、本質的に PZT の数分の 1 の圧電定数を越すことは難しいと考えられ、それ故単板又は単一膜の 2 端子素子として限られた範囲でしか応用されていなかった。

あるいは真ちゅう板 4 を含めた厚さを $1/2 \lambda$ として動作させることができるので、第 1 図に示すトランスデューサより強度上はるかに有利であり、また更に低い f_0 のものを得ることができるが、その総合感度（ないしは双方向挿入損失）は PZT により構成された従来のトランスデューサに比べて相当悪く（例えば $-10 \sim -16$ dB）、このため至近距離すなわち体表面の、又は乳腺などのような超音波エネルギーの波束の少い極く限られた目的物にしか適用できないという問題があった。

本発明の目的は、このような点に鑑み、電極を有する PVDF 単一膜を複数枚積層することにより従来のセラミック圧電素子にも匹敵する総合感度を有すると共にポリマー系圧電素子が本質的に有する広帯域性並びにインパルス応答の良さを兼ねることのない超音波トランスデューサを提供することにある。

以下図面を用いて本発明を詳細に説明する。第 3 図は本発明に係る超音波トランスデューサの一実施例を示す説明的要部 成図である。第 3 図に

第 1 図及び第 2 図は従来の単一膜 1 の 2 端子素子としての超音波トランスデューサを示す。第 1 図に示すトランスデューサは、その厚みを大略 $1/2 \lambda$ (λ は超音波の波長) とする PVDF 1 の両面に金、アルミニウム 2 を蒸着することにより薄膜電極 2, 3 を形成したもので、これを水浸しその厚み振動を水と結合し目的物に對し超音波を送波及び受波するものである。また、第 2 図に示すトランスデューサは膜厚を大略 $1/4 \lambda$ とする PVDF 1 の対向面に同様な薄膜電極 2 及び真ちゅう板 4（厚さ約 $0.1 \sim 5$ mm）の電極を接合し、薄膜電極 2 の方より水を介して目的物に超音波を発射するものである。なお、真ちゅう板 4 の裏側は空気中に放置されている。しかしながら、これらいずれのトランスデューサにおいても PVDF 1 の膜厚を大とすることが難しいため、医療用途に適した低い共振周波数 (f_0) (約 $1 \sim 10$ MHz) のトランスデューサを得ることは構造上難しい。また、第 2 図に示すトランスデューサでは、PVDF 膜自体を厚み方向に片持架構造により保持しつつ $1/4 \lambda$ 共振をさせ、

おいて、 $10 (10_1 \sim 10_n)$ は両面に電極 2, 3 を有する PVDF 膜で、超音波が伝播するのに経過する各質が伝播媒体 20 例えは水、水とほほ等価な音響特性を有する繊維又はシリコンゴム等を用いることができる。第 3 図ではシリコングム 20 をそれぞれの膜間に介在させて PVDF 単一膜を複層してある。これらの PVDF 単一膜の両端を保持棒 31, 32 によって保持することにより平面性を良好に保ち、また各 PVDF 膜の電極には後述する駆動回路が接続され得るようになっている。この複層 PVDF 膜 10 の表面側開口端にはそこから発射されもししくはそこに到来する超音波ビームに對し所望の指向性を得る目的で音響レンズ 40 を取付けてある。この音響レンズとしては例えば凸レンズ状のシリコングム又は凹レンズ状のアクリル樹脂板などを使用することができる。しかしながらこのような音響レンズを用いない場合にも開口端は十分に良好な音響学的結合を成すことができる。その場合、この開口端は等大の 1 枚の平面振動子に大略等価である。他方、複層 PVDF 膜 10 の背面側には音響学的無反射界面を実現するための吸音用の

パッケング材50が取付けられている。このパッケング材50としては例えば中空ガラスバルーン等の軽量体と重金属一味、ないしアルミナ、珪砂などの比重の重い粉末とを適宜量ずつ混入することにより音響学的損失を強調され、またこの配列構造の平均音響インピーダンスとよく合致するインピーダンスを有するように作製されたシリコンゴムを使用することができる。

第4図はこのような複層PVDF膜の一部を拡大表示したもので、電極を含む各々のPVDF膜は平面性よく保持され、その厚みが1、繋り合は膜とは平行性良く保たれ、その間隔が4であることを示す。このように間隔をおきつつ配列した各PVDF膜は並行波結合を成すように間に適宜のディレーをもって電気的結合(送受信)を行なう必要がある。第5図はPVDF膜10を駆動し超音波送受波を行わないLCディーラインの一実施例を示す構成図であり、インダクタンスL及びキャパシタンスCよりなるLCディーラインと、入出力の成端抵抗 R_1 、 R_2 より構成されている。ここで、各PVDF膜とLCデ

ィーラインとは配列順に予定された遅延時間間をもって結合されている。すなわち、送波時には波発射方向の開口端に近いPVDF膜ほど遅く駆動され、また受波時には、開口端に近いPVDF膜に受信された信号ほど長時間の遅延を受けたのち全体の電気端子で現われる。これらの行程において、常に、ディーラインの中を進行している送波されまたは受波されつつある電気信号と、各PVDF膜と中間媒体の成す配列構造の中を伝播する超音波エネルギーとの交渉は大略合致せられており、故にこの構成により進行波結合の原理に従った電気・音響エネルギー変換(結合)が行なわれる。

ところで、一区間の遅延時間 Δt_0 は、シリコンゴム20における音速を C_0 とすれば大略 $\Delta t_0 = d/C_0$ となるように選定しておかなければ必要がある。なお、PVDFの膜厚が4より十分薄ければ、 C_0 として水中の音速(1.5km/s)を代用しても実用上差し支えない。しかし一方、中間媒体として音響学的にPVDF膜と等価な物質、ないしは分離などしていまい所のPVDF

膜そのものを用いるならば、配列内部での超音波の多重反射を防止し得るという利点が生ずる。しかるにその場合、開口端において目的領域との音響学的インピーダンスマッチングが必要になり、退って煩雑となる。そのようなインピーダンスマッチング層は公知のように目的領域たる水のインピーダンスと、この配列構造の平均インピーダンスとの相乗平均のインピーダンスを有する1/4波長板などにより実現せられ、第3図のレンズ40の位置にとかれる。しかしながら、このようなマッチング層は波長単位で定義されるので、何オクターブにも及ぶ広帯域性を確保することとはできない。それ故に最も好ましい実施形態として、配列構造の音響方向の平均音響学的インピーダンスを水とほぼ等価とする(PVDF膜が中間媒体の厚さ、ないし膜間間隔4より十分薄ければほぼ等価となる)のがよい。

また、各間隔4は必ずしも一定である必要はなく、各膜間の電気的ディレーをしかるべき調整するならばまちまちであってもよい。また、PVDF膜

の枚数 n が、 $n \cdot k \geq 1$ (k は第1枚当たりの電気・機械結合係数)を満足する枚数であれば、周波数帯域幅を犠牲にすることなく大きな結合が得られる。結合係数 k は、圧電セラミック(例えばPZT)では容易に0.5~0.7程度に成し得るがPVDF膜では約0.1~0.15と弱い。従って、その分を枚数 n でかせぐことにより k の不足分を補って $n \cdot k \geq 1$ とするならばPZT単板に見合う結合強度を得ることができる。

複数個のPVDF單一膜が結合した場合における周波数特性(又はインパルス応答)は、単位膜の周波数特性で決る要素と配列で決る要素との積になる。それ故、波長 λ が $\lambda = \frac{1}{2} \cdot \lambda_s$ となるような最高動作周波数に至るまで配列の周期性と各膜間の電気的ディレーが一致していさえすれば、大略平坦な広帯域の周波数特性が得られる。しかしながら、 $n \cdot k \gg 1$ としても大略 $n \cdot k \geq 1$ の場合より大きさを利得が得られるわけではない。それ故に $n \cdot k \approx 1$ とするのが好ましい。PVDFの場合、等価的などは0.1~0.15程度であるから、 $n \cdot k \approx 7 \sim 10$ が最適で

る。

第6図は本発明の超音波トランスデューサの利用回路の他の方式による実施例である。第4図において、60は送波用ディレーライン、70(70₁ ~ 70_n)は送波パルス増幅器、80(80₁ ~ 80_n)は受波用初段増幅器、90は受波用ディレーラインをそれぞれ示す。送波用ディレーライン60から抽出される少しずつ遅延された遅延パルスはそれぞれ増幅器70₁ ~ 70_nを介してPVDFトランスデューサに個別に導かれている。また、各PVDF膜における受波信号は個別に受波用初段増幅器80₁ ~ 80_nを介して受波用ディレーラインに導入され、ここで適宜の遅延をかけてこれらの信号を合成し受波信号として送出する。この場合、受波用初段増幅器80₁ ~ 80_nを低雑音、高入力インピーダンスの増幅器とし、これらを膜状トランスデューサ10₁ ~ 10_nの送波端子とは分離した受波端子に可能な限り近接して配置し、これに各増幅器の入力端を最短距離にて浮遊誘電容量の増大を避けつつ接続することが望ましく、そのようにすることによって

本発明の特徴である広帯域性を損なうことなく従来のセラミック圧電素子に勝るともおどらぬ程の変換能力を実現することができる。

なお、送波用多段遅延手段(ディレーライン60)の機能としてはアナログ回路によるディレーラインによるのみならず、ディジタル方式によりプリセットカウンタ又はシフトレジスタを用いて実現することもできる。

以上説明したように本発明によれば、ポリマー系圧電素子を予定された値の間隔で積層配列し、その各素子の間隔に見合った遅延時間をもって各圧電素子を駆動すると共に圧電素子で受波した受波信号も同様に素子の間隔に見合った遅延時間を介して合成することにより、ポリマー系圧電素子が本来的に有する広帯域性並びにインパルス応答の良さを低減することなく従来のセラミック圧電素子に實質上劣らない変換能力を有する超音波トランスデューサを実現することができる。

4. 図面の簡単な説明

第1図及び第2図は従来のPVDF膜トランスデューサの構成図、第3図は本発明に係る超音波トランスデューサの一実施例を示す説明的構成図、第4図はPVDF膜の配置構造を説明する図、第5図及び第6図は本発明の超音波トランスデューサを用いて超音波を送受波するための回路の実施例を示す構成図である。

2, 3 … 電極、10(10₁ ~ 10_n) … PVDF膜、20 … 伝播媒体、31, 32 … 保持枠、40 … 音響レンズ、50 … パッキング材、60 … 送波用ディレーライン、70(70₁ ~ 70_n) … 送波パルス増幅器、80(80₁ ~ 80_n) … 受波用初段増幅器、90 … 受波用ディレーライン。

代理人弁理士小沢信助



図1

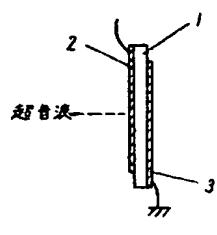


図2

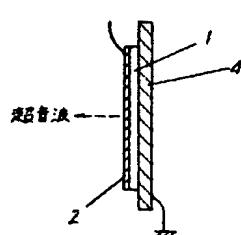


図3

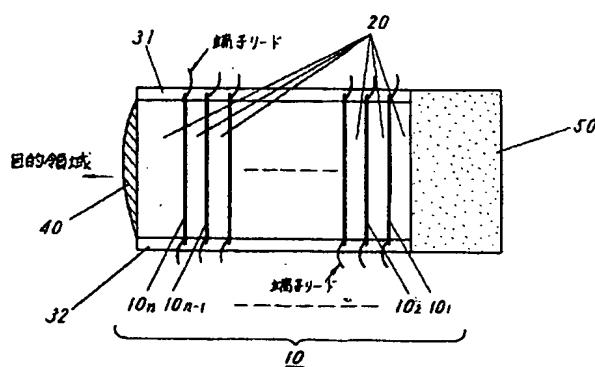


図4

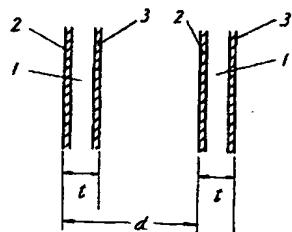


図6

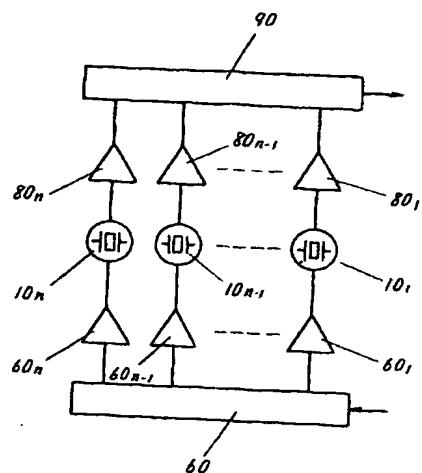


図5

